

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160641

李丽纯, 陈福梓, 王加义, 陈惠, 林晶, 李丽容. 基于 GIS 的台湾青枣在福建引扩种的气候适宜性区划[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(1): 47–54

Li L C, Chen F Z, Wang J Y, Chen H, Lin J, Li L R. Climate suitability regionalization for Taiwan green jujube introduction and expansion in Fujian Province using GIS[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(1): 47–54

基于 GIS 的台湾青枣在福建引扩种的气候适宜性区划*

李丽纯¹, 陈福梓², 王加义³, 陈惠¹, 林晶¹, 李丽容²

(1. 福建省气象科学研究所 福州 350001; 2. 漳州热带作物气象试验站 漳州 363001;

3. 福建省气象服务中心 福州 350001)

摘 要: 为合理利用福建气候资源、优化台湾青枣在福建的种植布局, 基于 GIS 开展台湾青枣在福建引扩种的气候适宜性区划。根据台湾青枣的生长气象指标、生命周期和生产管理特点, 选取 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温($\Sigma T_{\geq 10^{\circ}\text{C}}$)、年平均气温(T_{avg})、90%保证率年极端最低气温($T_{90\% \text{JDW}}$)、年降水量(R)、年日照时数(S)5 个气象因子作为区划指标, 构建台湾青枣的气候适宜性区划指标体系; 采用专家打分法和层次分析法对区划指标进行权重分析, 建立气候适宜指数算法; 基于气象要素值、经度、纬度、海拔高度, 通过线性回归建立 5 个区划指标的小网格推算模型; 结合小网格推算模型和气候适宜指数算法, 开展台湾青枣在福建引扩种的气候适宜性区划; 采用前期相关研究成果、青枣种植现状对区划结果的可靠性进行验证。结果表明: 台湾青枣的适宜种植区主要分布在泉州市辖区以南的沿海县市和漳州市的部分内陆县市; 次适宜区主要分布在福建中部沿海地区及龙岩南部的永定、上杭部分乡镇, 该区种植青枣可能遭受寒冻害, 应注意低温防护; 其余县市为不适宜种植区。区划结果与前期研究成果和青枣种植现状一致。研究结果可为台湾青枣在福建的引种、扩种和种植结构调整提供参考。

关键词: 台湾青枣; 适宜指数; 气候区划; 层次分析法; GIS

中图分类号: S162 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2017)01-0047-08

Climate suitability regionalization for Taiwan green jujube introduction and expansion in Fujian Province using GIS*

LI Lichun¹, CHEN Fuzi², WANG Jiayi³, CHEN Hui¹, LIN Jing¹, LI Lirong²

(1. Fujian Institute of Meteorological Science, Fuzhou 350001, China; 2. Zhangzhou Tropical Crop Weather Test Station, Zhangzhou 363001, China; 3. Fujian Meteorological Service Center, Fuzhou 350001, China)

Abstract: In order to reasonably utilize climatic resources and optimize Taiwan green jujube plantation layout in Fujian Province, regionalization of the suitability of climate for the introduction and expansion of Taiwan green jujube in Fujian was conducted using GIS platform. Based on local meteorological conditions, lifecycle and production management characteristics of Taiwan green jujube in Fujian, an indicator system for the regionalization of the suitability of climate was constructed. The indicator variables included the annual cumulative temperature $\geq 10^{\circ}\text{C}$, mean annual temperature, extreme minimum annual temperature (with climate suitability guarantee of 90%), annual precipitation and annual sunshine hours from 67 meteorological stations in Fujian Province during 1971–2011. The climate suitability index was summed up after standardization disposal of the performances of the five indicators and weighing by expert evaluation and AHP methods.

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406027)和福建省自然科学基金项目(2015J01160)资助

李丽纯, 主要从事生态与农业气象业务和科研工作。E-mail: lee8601@163.com

收稿日期: 2016-07-09 接受日期: 2016-09-21

* Support by the Special Scientific Research Fund of Meteorology in the Public Welfare of China (GYHY201406027) and the Natural Science Foundation of Fujian Province (2015J01160).

Corresponding author, LI Lichun, E-mail: lee8601@163.com

Received Jul. 9, 2016; accepted Sep. 21, 2016

Finally, the regionalization of the suitability of climate for the introduction and expansion of Taiwan green jujube in Fujian Province was done in GIS environment using the small grid reckoning models of the five indicators, combined with equation of the climatic suitability index. The climatic suitability index was divided into three grades, including suitable, sub-suitable and unsuitable, by natural break method combined with field investigation and repeated test. The reliability of the results of the regionalization of the suitability of climate for the cultivation of Taiwan green jujube in the province was confirmed by related research and the existing state of Taiwan green jujube plantations in Fujian. The results showed: 1) coastal areas south to Quanzhou City and several other counties inland of Zhangzhou (Zhangpu County, Yunxiao County, Zhao'an County and Dongshan County) were suitable for Taiwan green jujube cultivation. Heat conditions in the areas were abundant, with annual cumulative temperature $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ of $>7\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$, which prevented frost damage to Taiwan green jujube in the areas. As a result, Taiwan green jujube cultivation in the above areas could ensure high quality and yields. 2) Coastal areas in the central Fujian Province and some towns in Yongding County and Shanghang County in the south of Longyan area were the sub-suitable regions for Taiwan green jujube cultivation, because of lower extreme annual minimum temperature (with climate suitability guarantee of 90%) in the areas ($0\text{--}4\text{ }^{\circ}\text{C}$). It was possible that Taiwan green jujube cultivation in the areas could be hampered by low temperature or frost damage. Therefore, it was need to take defensive measures to avoid low temperature or frost damage. 3) The other regions / counties were unsuitable. The general climatic conditions in the areas were not fit for the growth of Taiwan green jujube, thus cultivation had no obvious economic benefits. Recent research studies and state of cultivation of Taiwan green jujube in Fujian confirmed the reliability of the regionalization analysis. The results offered a critical reference base for the introduction, expansion and adjustment of cultivation structure of Taiwan green jujube in Fujian Province.

Keywords: Taiwan green jujube; Suitability index; Climate regionalization; AHP method; GIS

台湾青枣 (*Zizyphus mauritiana*, Taiwan green jujube) 属鼠李科枣属植物, 又名毛叶枣、印度枣, 原产于印度、北非等热带地区。2000 年左右, 台湾青枣作为新兴果树, 受到福建省果业朋友的青睐并开始规模种植, 主要品种为‘高朗一号’和‘翠蜜’。近年来, 因青枣种植效益高, 种植面积不断扩大, 但在引种过程中, 由于民间引进量大而且面广, 存在盲目种植现象, 常遭受农业气象灾害, 又或气候条件适宜种植的地区没有得到充分开发利用, 造成气候资源的浪费等。因此, 开展台湾青枣的引扩种气候适宜性区划, 对充分合理利用气候资源、减少种植盲目性具有重要指导意义。

关于台湾青枣的研究, 目前仍大部分集中在栽培管理技术、生物学特性方面^[1-4], 而对青枣引种扩种的研究目前仅见刘代兴^[5]对台湾青枣在云南热区的种植区划提出了初步意见, 孙浩元等^[6]通过数理方法分析比较台湾青枣原产地和拟引进地区的温度、湿度、降水等环境因子, 以地级市为研究单元对全国的青枣种植适宜区进行了划分; 在气候适宜性区划方法方面, 很多学者已经做了大量研究^[7-17], 但对区划结果准确性的验证仍较少涉及。指标选择是区划研究中最基本也是最关键的一个环节, 其结果直接影响区划结果的准确性。在指标研究方面, 现有研究尽管大多也考虑了光、温、水等气象指标, 但均未结合作物的生命周期、生产管理特点等对指标进行二次处理。此外, 基于 GIS 的青枣引扩种气候适宜性的精细化区划仍未见报道, 台湾青枣的引

种、扩种缺少指导性依据。

本文拟通过构建综合考虑青枣生长气象指标、生命周期和生产管理特点的台湾青枣气候适宜性区划指标体系, 在此基础上开展基于 GIS 的精细化的台湾青枣引扩种气候适宜性区划, 并采用前期研究成果以及台湾青枣种植现状对区划结果的可靠性进行验证, 摸清福建省复杂地形下台湾青枣种植的气候适宜性分布, 以期在台湾青枣在福建引扩种及种植结构调整提供科学、可操作性强的指导建议。

1 数据资料及处理方法

1.1 数据来源

研究所用数据包括福建省 67 个地面气象观测站 1971—2011 年的气候数据, 包括经度、纬度、海拔等地理信息数据, 年平均气温、历年极端最低气温、年降水量、年日照时数等气象要素的历年平均值或极端最低值, 由福建省气象局提供。地理信息数据采用数字福建提供的 1:25 万福建省地理信息数据, 应用 GIS 技术提取经度、纬度、海拔高度等栅格数据。

1.2 数据处理

1.2.1 90%保证率极端最低气温的计算

采用福建省 67 个地面气象观测站 1971—2011 年的极端最低气温数据, 对各站点历年极端最低气温进行正态检验, 对不符合正态分布的样本进行正态化处理。采用极端最低气温样本平均值(u)和样本均方差(σ)建立分布函数:

$$F(x) = \int_{-a}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}} du \quad (1)$$

通过 Excel 中 NORMINV 函数, 给定极端最低气温的正态分布概率(0.9), 计算正态分布区间点的值, 即 90%保证率的极端最低气温值。

1.2.2 数据标准化

由于模型中包括多种区划指标, 且各指标量级不同, 为避免量纲不同造成的影响, 在 GIS 平台下, 通过栅格计算器对指标值进行标准化处理, 使其值处于 0 和 1 之间, 以消除量纲的影响。

2 研究方法

通过文献查阅、专家访谈、田间实地调查、物候观测等多渠道了解台湾青枣对气候条件的需求, 构建台湾青枣引扩种气候适宜性区划指标体系; 通过权重分析给各区划指标赋权, 建立台湾青枣气候适宜指数算法; 运用数理统计方法构建区划指标的小网格推算模型, 基于 GIS 实现区划指标的空间连续分布; 在 GIS 平台下, 对区划指标值进行标准化等处理, 结合气候适宜指数算法, 获取台湾青枣的气候适宜指数分布图; 叠加福建省土地利用类型数据, 并进行适宜性等级划分, 制作台湾青枣在福建引扩种的精细化气候适宜性区划图。

2.1 区划指标体系及权重计算方法

台湾青枣属于热带水果, 对热带环境的适应性较强, 也适合南亚热带地区种植。一般在年平均温度 19 °C 以上、年积温 6 500 °C 以上、极端最低温不低于 -5 °C、年降雨量 500 mm 以上、相对湿度大于 50%、

基本无霜的热带、亚热带地区均可种植^[6,18-19], 但以年降水量 1 200 mm 以下的干热河谷地区最为适宜。

影响台湾青枣生长的主要限制因子是温度, 最适宜生长发育的温度为 20~35 °C, 在平均气温 15 °C 以下生长缓慢。据文献研究^[5-6,18-23]、果树专家走访、田间观测等综合分析, 台湾青枣在极端最低气温达 4 °C 以下时, 叶片轻度受害, 部分叶片变黄; 0~-1 °C 时, 果实受冻僵糟状; -1~-2 °C 时, 枝条、花果冻死; -4 °C 时成年枣树地上部分被冻死。台湾青枣作为多年生植物, 但又是速生果树, 在生产管理上都是一年一修剪。如遭遇寒冻害损失, 只要主干尚好, 修剪后仍可正常开花结果。台湾青枣喜光耐旱, 在福建, 9—10 月常有台风影响, 降水量偏多, 对开花授粉会产生一定程度的不利影响, 但花期长, 只要有一批花授粉成功便可获得良好的产量。台湾青枣作为喜光作物, 充足的光照对其开花非常有利, 田间管理上经常通过人工挂灯来调控青枣的花期。

根据台湾青枣的生长气象指标、生命周期、发育速度、田间管理特点, 结合专家访谈、田间实地调查、物候观测等资料, 认为 ≥ 10 °C 年活动积温、年平均气温、年极端最低气温、降水、日照是决定台湾青枣种植适宜程度的主要气象因子。考虑台湾青枣多年生、一年一修一结果的生长特点等, 对年极端最低气温进行二次处理, 即 90%保证率处理。因此, 最终确定 ≥ 10 °C 年活动积温($\sum T_{\geq 10}$ °C)、年平均气温(T_{avg})、90%保证率年极端最低气温($T_{90\%JDW}$)、年降水量(R)和年日照时数(S)为区划指标。根据台湾青枣的生物学特性, 结合文献查阅、专家咨询、田间走访等, 对区划指标进行等级划分, 结果如表 1。

表 1 台湾青枣气候适宜性区划指标及划分标准

Table 1 Indicators and their grading standards for the climatic suitability regionalization of Taiwan green jujube

指标 Indicator	适宜 Suitable	次适宜 Sub-suitable	不适宜 Unsuitable
≥ 10 °C 年活动积温 Annual accumulative temperature ≥ 10 °C ($\sum T_{\geq 10}$) (°C)	$\sum T_{\geq 10} \geq 7\ 000$	$6\ 000 < \sum T_{\geq 10} < 7\ 000$	$\sum T_{\geq 10} \leq 6\ 000$
年平均气温 Annual mean temperature (T_{avg}) (°C)	$T_{avg} \geq 20$	$17 < T_{avg} < 20$	$T_{avg} \leq 17$
90%保证率年极端最低气温 Extreme minimum temperature with 90% climate guarantee rate ($T_{90\%JDW}$) (°C)	$T_{90\%JDW} \geq 0$	$0 < T_{90\%JDW} < 4$	$T_{90\%JDW} \leq 0$
年降水量 Annual precipitation (R) (mm)	$700 \leq R < 1\ 200$	$500 < R < 700, 1\ 200 \leq R < 1\ 900$	$R \geq 1\ 900, R \leq 500$
年日照时数 Annual sunshine hours (S) (h)	$S \geq 2\ 000$	$1\ 600 < S < 2\ 000$	$S \leq 1\ 600$

在权重确定上, 考虑到单纯依靠专家打分法或层次分析法等单一方法计算权重可能存在片面性, 参照陈家金等^[24]采用主客观相融合的打分方法。首先, 邀请多位农业气象领域专家采用层次分析法^[25]中的 1~9 比例标度法对 5 个区划指标的重要性进行两

两比较打分, 构建指标的判断矩阵(表 2)。

然后, 采用“和积法”求出各指标所对应的权值向量^[24-25], 并通过 CR 检验对判断矩阵的一致性进行检验, 检验后认为判断矩阵具有满意的一致性, 结果符合随机一致性指标。因此, 确定各评价指标权重如表 3。

表 2 台湾青枣气候适宜性区划指标专家打分表

Table 2 Expert evaluating table for the climatic suitability regionalization indicators of Taiwan green jujube

区划指标 Regionalization Indicator	$\sum T_{\geq 10}$	T_{avg}	$T_{90\%JDW}$	R	S
$\sum T_{\geq 10}^{\circ C}$	1	1	3	5	9
T_{avg}	1	1	3	5	9
$T_{90\%JDW}$	1/3	1/3	1	3	7
R	1/5	1/5	1/3	1	5
S	1/9	1/9	1/7	1/5	1

表 3 台湾青枣气候适宜性区划指标权重

Table 3 Weights of the indicators for the climatic suitability regionalization of Taiwan green jujube

区划指标 Regionalization indicator	$\sum T_{\geq 10}$	T_{avg}	$T_{90\%JDW}$	R	S
权重值 Weight	0.36	0.36	0.16	0.09	0.03

从表 3 可见,在区划指标体系中, $\geq 10^{\circ C}$ 年活动积温和年平均气温占的权重最大,是决定台湾青枣种植适宜程度的最主要气象因子;90%保证率年极端最低气温次之,但作为影响果树是否能安全越冬的关键气象因子,该指标的权重也比较大;日照和降水量所占的权重较小,这两个指标因子更多的是影响青枣果实的品质,对青枣种植适宜程度的影响相对较小。

2.2 区划指标的小网格推算

气候资源由于纬度、海拔不同存在明显的空间差异。福建省土地面积为 $12.37 \times 10^4 \text{ km}^2$,目前仅分布 67 个标准气象站,每一台站相当于代表 $0.18 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的

面积,不能全面真实反映气候资源的立体多样性特征,也不能满足台湾青枣精细化区划要求。因此,有必要建立区划指标的空间分析模型,以此来推算气候资料无法测站地区的分布状况,为开展精细化气候适宜性区划奠定基础。

基于福建省各标准站 1971—2011 年的地面观测数据及公里网地理信息数据,运用数理统计方法建立 $\geq 10^{\circ C}$ 年活动积温、年平均气温、90%保证率年极端最低气温、年降水量和年日照时数 5 个区划指标与经度(λ , km)、纬度(φ , km)和海拔高度(h , m)的多元回归模型(表 4),即区划指标的小网格推算模型,显著性检验水平均为 0.001。

表 4 台湾青枣气候区划指标的小网格推算模型

Table 4 Small grids reckoning models for the climatic regionalization indicators of Taiwan green jujube in Fujian

区划指标 Regionalization indicator	地理关系模型 Geographic model	相关系数 Correlation coefficient	F 值 F value
$T_{\geq 10}$	$T_{\geq 10} = 17\,260.600 + 6.338 \times 10^{-5} \lambda - 3.54 \times 10^{-3} \varphi - 1.943 h$	0.975	411.65**
T_{avg}	$T_{avg} = 43.110 + 7.24 \times 10^{-7} \lambda - 8 \times 10^{-6} \varphi - 0.005 h$	0.846	51.14**
$T_{90\%JDW}$	$T_{90\%JDW} = 53.149 + 1.26 \times 10^{-5} \lambda - 2.1 \times 10^{-5} \varphi - 0.005\,28 h$	0.966	291.99**
R	$R = -179.86 + 6.7 \times 10^{-4} \lambda - 7.59 \times 10^{-4} \varphi + 0.231\,9 h$	0.686	18.27**
S	$S = 4\,018.795 + 1.81 \times 10^{-4} \lambda - 9.3 \times 10^{-4} \varphi - 0.067\,48 h$	0.723	23.42**

λ : 经度, km; φ : 纬度, km; h : 海拔高度, m. **: 通过信度 $\alpha=0.001$ 的显著性检验. λ : longitude, km; φ : latitude, km; h : altitude, m. ** shows significant correlation by the significance test for the reliability coefficient α of 0.001.

2.3 气候适宜指数及等级划分

根据归一化的区划指标值和指标权重值,建立台湾青枣气候适宜指数式:

$$I = \sum_i^n W_i X_i \quad (2)$$

式中: I 为气候适宜指数, W_i 为指标权重值, X_i 为 $\geq 10^{\circ C}$ 年活动积温($\sum T_{\geq 10}^{\circ C}$)、年平均气温(T_{avg})、90%保证率年极端最低气温($T_{90\%JDW}$)、年降水量(R)、年日照时数(S)5 个区划指标的归一化值。

采用自然断点法(属不等值分级方法)对气候适宜指数进行分级,即通过分析区域内所有站点数据值与平均值之差的原则来寻找特征点,并结合实地调查,通过多次试验划分,得出台湾青枣气候适宜性等级划分标准(表 5)。

3 结果与分析

3.1 台湾青枣适宜性气候区划

基于 5 个区划指标值和气候适宜指数式(式 2),

表 5 台湾青枣气候适宜性指数等级划分

Table 5 Gradation of the climate suitability index for Taiwan green jujube

分级指标 Gradation index	适宜 Suitable	次适宜 Sub-suitable	不适宜 Unsuitable
<i>I</i>	>0.82	0.71~0.82	<0.71

表 6 福建省代表站点的台湾青枣气候适宜指数值

Table 6 Climate suitability indexes of representative stations for the planting of Taiwan green jujube in Fujian

适宜区 Suitable area			次适宜区 Sub-suitable area		不适宜区 Unsuitable area	
站点 Station	指数值 Value		站点 Station	指数值 Value	站点 Station	指数值 Value
漳浦 Zhangpu	0.86		永定 Yongding	0.77	连城 Liancheng	0.68
东山 Dongshan	0.89		上杭 Shanghang	0.76	德化 Dehua	0.64
平和 Pinghe	0.85		南安 Nan'an	0.82	建宁 Jianning	0.61
长泰 Changtai	0.83		莆田 Putian	0.79	邵武 Shaowu	0.63
晋江 Jinjiang	0.83		福州 Fuzhou	0.76	浦城 Pucheng	0.59
同安 Tong'an	0.83		宁德 Ningde	0.72	福安 Fu'an	0.70

考虑到林地保护、公路、水库、江河等土地利用类型无法利用等原因,台湾青枣的种植只能在耕地、园地等土地利用类型上开展。因此,在气候区划的基础上,开展融入土地利用类型的台湾青枣精细化气候区划,屏蔽城镇、交通水利用地、河流湖泊等不适合种植区域。将台湾青枣的综合气候区划图层与耕地、园地图层进行逻辑相乘,将不适宜台湾青枣种植的区域屏蔽,结合台湾青枣气候适宜性等级划分标准(表 5),得到台湾青枣在福建引扩种的气候适宜性区划图(图 1)。

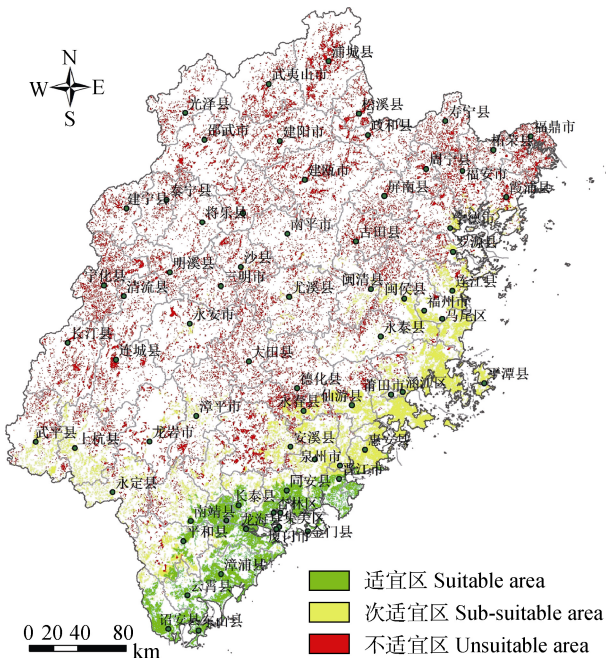


图 1 台湾青枣在福建引扩种的气候适宜性区划

Fig. 1 Climatic suitability regionalization for the introduction and expansion of Taiwan green jujube in Fujian

采用GIS空间分析模块的栅格计算器,对5个气候区划指标的空间分布图进行标准化、取整、叠加分析等,得到台湾青枣气候适宜指数分布图。台湾青枣在福建种植的气候适宜指数介于0.71~0.92,限于篇幅,本文仅列出部分代表站点的气候适宜指数值(表6)。

由图 1 可见,台湾青枣在福建引扩种的气候适宜性等级分布:

1)适宜区。该区主要包括泉州市辖区以南的沿海县市,以及漳州市的部分内陆县市,包括漳浦县、长泰县、南靖县、平和县等。该地区热量条件充沛, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温大于 7000°C ,年平均气温大于 20°C ,90%保证率极端最低气温大于 4°C ,热量条件非常适宜台湾青枣的生长,且较高的年极端最低气温能够保证台湾青枣的安全越冬和果实的安全生产^[1,5];该区年降水量 $1200\sim 1900\text{ mm}$,年日照时数 $1600\sim 2000\text{ h}$,在水分和光照方面属台湾青枣的次适宜生长范围,但这两个因子影响权重小。因此,该区气候条件总体有利于台湾青枣的产量和品质形成,在种植管理上可通过开沟降湿培土来避免或减轻涝渍害;同时,通过挂灯增加光照来弥补日照的不足,目前这些管理措施已在福建省主要种植区得到推广应用。

2)次适宜区。该区主要处于福建省中部沿海、闽江、九龙江和汀江周边的低平地区,包括福建中部沿海地区及龙岩南部的永定、上杭部分乡镇。这些地区热量条件尚可, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温大于 6000°C ,年平均气温大于 17°C ,90%保证率的年极端最低气温介于 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$,年降水量 $1200\sim 1900\text{ mm}$,年日照时数 $1600\sim 2000\text{ h}$,在光温水方面均属台湾青枣的次适宜范围。该区台湾青枣可能遭受低温寒害影响,种植时应考虑采用薄膜覆盖等低温防范技术进行防寒,以确保台湾青枣的安全生产,降水和日照方面同样可采取降湿、补光等田间管理措施。若无防御措施,台湾青枣的生长将遭受不利影响。以永定县、平和县为例,这两个县的大部分区域均

属台湾青枣的次适宜种植区。1999年12月21—26日永定县连续6 d霜冻,于7—8月露天栽培的台湾青枣大部分被冻死,但树体较大的植株于次年重新萌发结果;2010年12月17日平和县郊区露天栽培的台湾青枣,出现冻果,部分脱落,留在树上的果实长势较差,影响产量,枝叶未冻。

3)不适宜区。该区包括北部沿海和中北部内陆地区,以北部地区综合气象条件最差。尽管该区部分县市平均气温、积温条件尚可,但极端最低气温偏低,大部分县市极端最低气温在 0°C 以下,虽然青枣树仍可能存活,但越冬期果实常遭受冻害,无法形成有效的产量和品质,不具备明显的经济效益,是台湾青枣引扩种的不适宜区。特别是西北部山区在光温水方面均不适宜台湾青枣种植,气候适宜指数值为全省最低。

3.2 区划结果验证

基于前期研究成果^[6,24,26]、台湾青枣在福建的种植现状对区划结果进行验证,结果表明,区划结果比较可靠,可为台湾青枣在福建的引种、扩种及种植结构调整提供决策参考。

3.2.1 与前期研究结果的一致性

基于气候适宜指数制作的台湾青枣气候区划图(图1)中,台湾青枣在福建种植的适宜区为闽台两地果树气候相似性较高-中等的区域,次适宜种植区为闽台两地果树气候相似性中等-较差的区域,而不适宜种植区与台湾的气候相似性为差或不相似^[26],二者的分析结果总体上一致。

据陈家金等^[24]的研究结果,泉州市以南沿海县市的台湾青枣引种区为轻度-中度寒害风险区域,在本研究中,该区属台湾青枣的种植适宜区,二者结果基本一致;其余地区为重度-严重寒冻害风险,是本研究中台湾青枣的次适宜种植区,与本研究结果也一致。

孙浩元等^[6]的研究认为,漳州为青枣种植的适宜区,福鼎、宁德为次适宜区,长汀、浦城、邵武、建阳等为不适宜种植区,与本研究结果也相一致。

3.2.2 与福建省青枣种植现状的一致性

从福建省青枣种植现状来看,目前台湾青枣大面积种植区主要集中在漳州市,该区域处于台湾青枣气候区划图的适宜区和次适宜区,小面积种植区主要分布在中北部沿海及南部内陆的局地有利小气候区域,该区域处于青枣气候适宜性区划的次适宜区,种植现状与区划结果较为吻合,说明区划结果具有客观性。

4 结论与讨论

1)中南部沿海及南部内陆的部分县市为台湾青枣在福建的适宜种植区和次适宜种植区,其中泉州市辖区以南的闽南沿海县市,因其热量条件充沛,寒冻害风险低^[24],尤其适合台湾青枣的栽培。其余区域为台湾青枣的不适宜种植区,光温水匹配及热量条件较差,降水较多,尤其极端最低气温低,难以形成产量。前期研究成果和台湾青枣在福建的种植现状与区划结果基本一致,且历史灾情个例中台湾青枣寒冻害形态表征程度也与该地域的种植适宜程度吻合,说明区划结果可靠,可为福建省台湾青枣的引扩种提供布局决策参考。

2)在气候区划研究中,指标体系构建、指标权重确定直接影响评价结果的可靠性。在区划指标构建过程中,研究综合考虑台湾青枣的生长气象指标、生命周期及生产管理等特点,对区划指标年极端最低气温进行了保证率处理,在很大程度上提高了区划的准确性。本研究在区划指标的选择上,基本能反映青枣全生育期对气象条件的需求,但尚未考虑关键生育期的气象条件指标;在区划结果中尽管已经考虑了福建省土地利用现状,但对下垫面某些因子如坡度、坡向、土壤等影响因子未考虑,有待今后继续补充、修正和完善,以进一步提升区划的准确性。同时,在指标权重方面,采用专家打分和层次分析相结合的方法确定权重,克服了以往一些研究单纯依赖专家主观打分带来的局限性,消除了单纯依赖专家经验或基于统计指标发生概率计算指标权重的片面性。

3)目前在龙岩北部有小面积新植的台湾青枣,这些区域属于不适宜种植气候区,建议改种其他作物或果树,若需种植必须采取保护地栽培;在漳州沿海,大部分区域属台湾青枣种植气候适宜区,部分县市如诏安、云霄等种植面积仍较小,建议可在这些地区进行扩种;中南部沿海次适宜种植区可根据当地立地条件有选择性地发展台湾青枣产业,如莆田、泉州沿海县市目前仅少数青枣种植,当地可根据经济发展需要进行台湾青枣的引种和扩种,但应特别注意做好田间管理,尤其冬季的低温防御。研究结果可为福建省台湾青枣的种植结构调整提供参考依据。

参考文献 References

- [1] 罗华建, 罗诗, 赖永超, 等. 台湾青枣果实生长发育初探[J]. 果树学报, 2002, 19(6): 436-438

- Luo H J, Luo S, Lai Y C, et al. Study on fruit development of Taiwan green jujube[J]. Journal of Fruit Science, 2002, 19(6): 436–438
- [2] 李宏文, 李庆兴, 魏萍花. 台湾青枣的引种表现及高产栽培技术[J]. 广东农业科学, 2007(8): 30–32
- Li H W, Li Q X, Wei P H. Introduction expression and high-yielding culture technology of Taiwan green jujube[J]. Guangdong Agricultural Science, 2007(8): 30–32
- [3] 王志辉. 台湾青枣无公害丰产栽培技术[J]. 中国园艺文摘, 2011(12): 167–168
- Wang Z H. Pollution-free culture technology with high yield of Taiwan green jujube[J]. Chinese Horticultural Abstract, 2011(12): 167–168
- [4] 卢扬文. 台湾青枣高效栽培关键技术[J]. 中国农技推广, 2009, 25(6): 29–30
- Lu Y W. Pollution-free culture technology with high yield of Taiwan green jujube[J]. China Agricultural Technology Extension, 2009, 25(6): 29–30
- [5] 刘代兴. 台湾青枣品种、丰产栽培及云南种植区划[J]. 热带农业科技, 2003, 26(2): 6–10
- Liu D X. Varieties, fertile plant technique and plant division of *Zizyphus mauritiana* in Yunnan[J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2003, 26(2): 6–10
- [6] 孙浩元, 续九如, 王玉柱, 等. 应用灰色聚类分析和灰色关联分析对台湾青枣引种适宜区的选择[J]. 中国农学通报, 2006, 22(4): 143–146
- Sun H Y, Xu J R, Wang Y Z, et al. Selection of suitable climatic regions for introduction of *Zizyphus mauritiana* using the methods of gray clustering and gray connecting analysis[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(4): 143–146
- [7] 谷晓平, 于飞, 马建勇, 等. 贵州省小油桐气候适宜性评价指标分析和区划[J]. 中国农业气象, 2013, 34(4): 434–439
- Gu X P, Yu F, Ma J Y, et al. Assessment indices of climate suitability and division for *Jatropha curcas* in Guizhou Province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2013, 34(4): 434–439
- [8] 金志凤, 邓睿, 黄敬峰. 基于 GIS 的浙江杨梅种植区划[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 214–218
- Jin Z F, Deng R, Huang J F. Regional planning for planting *Myrica rubra* based on GIS in Zhejiang Province [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 214–218
- [9] 黄永璘, 苏永秀, 钟仕全, 等. 基于决策树的香蕉气候适宜性区划[J]. 热带气象学报, 2012, 28(1): 140–144
- Huang Y L, Su Y X, Zhong S Q, et al. Division of banana for climatic suitability based on a decision tree[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2012, 28(1): 140–144
- [10] 闵程程, 马海龙, 王新生, 等. 基于 GIS 的湖北省油菜种植气候适宜性区划[J]. 中国农业气象, 2010, 31(4): 570–574
- Min C C, Ma H L, Wang X S, et al. Climatic adaptability division for rape planting in Hubei Province based on GIS[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(4): 570–574
- [11] 苏占胜, 秦其明, 陈晓光, 等. GIS 技术在宁夏枸杞气候区划中的应用[J]. 资源科学, 2006, 28(6): 68–72
- Su Z S, Qin Q M, Chen X G, et al. Application of GIS for climate mapping of Chinese wolfberry in Ningxia Hui Autonomous Region[J]. Resources Science, 2006, 28(6): 68–72
- [12] 薛生梁, 刘明春, 张惠玲. 河西走廊玉米生态气候分析与适生种植气候区划[J]. 中国农业气象, 2003, 24(2): 12–15
- Xue S L, Liu M C, Zhang H L. Analysis and division of ecological and climatic conditions for maize planting in the Hexi Corridor[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2003, 24(2): 12–15
- [13] 李迎春, 张建萍. GIS 支持下的井冈山山区毛竹种植气候区划[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(4): 94–96
- Li Y C, Zhang J P. Climate division of planting bamboo based on GIS in the Jinggang Mountain Area[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(4): 94–96
- [14] 郭文利, 王志华, 赵新平, 等. 北京地区优质板栗细网格农业气候区划[J]. 应用气象学报, 2004, 15(3): 382–384
- Guo W L, Wang Z H, Zhao X P, et al. Climate division in fine grids of high quality chestnut in Beijing area[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2004, 15(3): 382–384
- [15] 梁平, 王洪斌, 龙先菊, 等. 黔东南州种植太子参的气候生态适宜性分区[J]. 中国农业气象, 2008, 29(3): 329–332
- Liang P, Wang H B, Long X J, et al. Climatic and ecological suitability division for *Pseudostellaria heterophylla* growing in southeast Guizhou prefecture[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2008, 29(3): 329–332
- [16] 张晓煜, 李红英, 陈卫平, 等. 宁夏酿酒葡萄品种生态区划[J]. 生态学杂志, 2014, 33(11): 3112–3119
- Zhang X Y, Li H Y, Chen W P, et al. Ecological regionalization of wine grape varieties in Ningxia[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(11): 3112–3119
- [17] 苏永秀, 李政, 孙涵. 基于 GIS 的广西甘蔗种植气候区划[J]. 中国农业气象, 2006, 27(3): 252–255
- Su Y X, Li Z, Sun H. Climate division of sugarcane planting based on GIS in Guangxi[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2006, 27(3): 252–255
- [18] 赖汉龙, 陈盛文, 余秀蓉. 台湾青枣的生长特性及栽培技术[J]. 农业新技术, 2004(1): 8–9
- Lai H L, Chen S W, Yu X R. Growth characteristic and culture technology of Taiwan green jujube[J]. New Agricultural Technology, 2004(1): 8–9
- [19] 姚志文, 黄巧敏. 新丰地区种植台湾青枣的农业气候条件分析[J]. 广东气象, 2004(4): 26–27
- Yao Z W, Huang Q M. Analysis of agricultural climatic condition of the planting of Taiwan green jujube in Xinfeng area[J]. Guangdong Meteorology, 2004(4): 26–27
- [20] 卢新坤, 林旗华, 庄文彬. 台湾青枣“蜜枣”在漳州的引种试验初报[J]. 中国南方果树, 2012, 41(2): 95–97
- Lu X K, Lin Q H, Zhuang W B. A preliminary for the introduction experiment of Taiwan green jujube in Zhangzhou[J]. South China Fruits, 2012, 41(2): 95–97
- [21] 徐宗焕, 陈家金, 林俩法, 等. GIS 在漳州青枣低温害分析中的应用[J]. 广西气象, 2005, 26(S1): 12–13
- Xu Z H, Chen J J, Lin L F, et al. Analysis of low temperature injury to Taiwan green jujube in Zhangzhou by GIS[J]. Journal of Guangxi Meteorology, 2005, 26(S1): 12–13

- [22] 陈清西. 台湾青枣无公害栽培[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2006: 18–19
Chen Q X. Free-pollution planting of Taiwan green jujube[M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Publishing House, 2006: 18–19
- [23] 黄光民, 刘尉, 王广伦. 低温对广东果树、花卉形态及花期的影响[J]. 广东气象, 2010, 32(5): 39–41
Huang G M, Liu W, Wang G L. The effect of low temperature on plantlet, flower morphology, florescence of fruit tree[J]. Guangdong Meteorology, 2010, 32(5): 39–41
- [24] 陈家金, 王加义, 黄川容, 等. 福建省引种台湾青枣的寒冻害风险分析与区划[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(12): 1537–1544
Chen J J, Wang J Y, Huang C R, et al. Risk analysis and regionalization of cold and freezing damage to Taiwan-based *Zizyphus mauritiana* in Fujian Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(12): 1537–1544
- [25] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 224–250
Xu J H. Mathematical Method in Contemporary Geography[M]. Beijing: China Higher Education Press, 2002: 224–250
- [26] 李丽纯, 陈家金, 林晶, 等. 基于模糊相似优先比的闽台两地果树气候相似性分析[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(9): 1149–1156
Li L C, Chen J J, Lin J, et al. Using fuzzy similarity priority ratio to analyse climate similarity between Fujian and Taiwan for fruit tree cultivation[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(9): 1149–1156